

水耕洋桔梗自動移植機之研發應用¹

洪榆宸^{2*}、張佳偉²、張金元²、田雲生²

摘 要

洋桔梗為臺灣近年發展快速的新興切花產業，為提升栽培自動化及紓解產業勞動力短缺，本研究研製水耕栽培洋桔梗自動移植機，並以落實產業實務應用為目標。機具主要功能為自動化將苗株於穴盤中頂起，夾持苗株等距擴大運送，移至保麗龍盤之承苗杯中完成移植作業。機具擁有2項新型專利：植物抓取裝置(M638295)及植物頂起裝置(M636649)，作為機具之移植機構。目前開發原型機1代與2代2型機具，經測定移植過程之頂苗、夾苗及放苗3個階段，兩者整體作業成功率皆達9成以上，顯示移植機構之功能穩定性。原型機2代在整體設計優化下，具較簡約機構設計及較低製造成本，其作業效率較原型機1代可提升33.83%，平均42.6秒完成12株苗之移植作業，17分45秒完成一盤288格穴盤，2分21秒完成一盤40格保麗龍，更符合產業實務需求。本研究評估機具已達實務應用之階段，規劃原型機2代實地場域測試操作，落實產業機械化省工，減輕農民栽培辛勞，提升生產規模及經濟效益。

關鍵字：洋桔梗、水耕、移植、機械自動化

前 言

洋桔梗(*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.)屬於龍膽科(Gentianaceae)宿根性多年草本花卉，英名為Eustoma或Lisianthus(王與張，2007)。洋桔梗因花形優美、花色豐富、吸水性佳及耐儲運等優點，成為近年臺灣新興切花產業，也是前三大外銷切花作物之一，產地集中在彰化、嘉義、雲林及臺南等地，每年栽培面積約100公頃，年產量3,000萬枝(林等人，2019；戴，2020；陳與蔡，2022)。傳統栽培方式主要於設施內以土耕種植，經多年連續種植常發生連作障礙(successive cropping obstacle)，如植株生育緩慢、植株矮小、花朵數少等品質不良的現象，同時伴隨土壤鹽分累積、根瘤線蟲及病原菌侵害而嚴重影響產量，雖能以輪作、休耕期淹水、畦面覆蓋、熱水處理及添加土壤改良劑等方式改善上述問題，但效果有限，因前作洋桔梗殘留於土壤中之殘體所產生的自毒作用(autotoxicity)仍會抑制植株生長(王等人，2008；蔡與陳，2013；張與王，2017；張與王，2019)。因此，現行生產洋桔梗以推廣水耕栽培為導向，可克

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1085 號。

² 農業部臺中區農業改良場計畫助理、助理研究員、副研究員、研究員。

*通訊作者：ychung@tcdares.gov.tw

服高溫及連作障礙，亦有耕作環境整潔、水資源可重複循環利用及節省肥料農藥施用與整地作畦等人力成本等優點，配合水耕栽培系統可達到周年生產，並提高單位面積產量(圖一)(蔡，2013；蔡，2023)。然而，洋桔梗在水耕栽培過程中仍需大量勞力進行每一階段的作業，如移植作業需以人工蹲坐之方式，將穴盤苗逐株置入水耕用保麗龍盤上，其過程相當繁複且辛勞(圖二)。

農業正面臨高齡化及勞動力短缺，而穴盤移植作業為農業生產的關鍵環節之一，由於所需勞動力大、費時、效率低等問題，多年來已開發多種機械結構和技術應用，在國內土耕栽培已有半自動及全自動移植機協助生產，機具主要結合行走動力進行行距插植，半自動機型由人工供苗，對於穴盤規格、種類沒有限制(田等人，2003；游，2020)，如Kubota KP201機型，而全自動機型由機械爪進行夾放苗且搭配穴盤輸送機構，對於穴盤種類與材質則有規格上之要求，如Kubota SKP200、Yanmar PF2R等機型。

在設施內自動化移植作業可分為幾種類型，包含擴大行距移植、挑苗移植、分級移植及換盆移植等，其中挑苗移植與分級移植通常需具備影像辨識之功能，偵測出弱勢株或不同大小植株等(Liu *et al.*, 2023)。目前有國內種苗業者引進荷蘭之移植選苗機(TTA FlexPlanter)，主要功能將苗株夾取，進行苗株優劣汰除並補苗，機台可1人操作，效率3,000-30,000株/小時，產出效率較傳統人力提升35倍，效能優良但成本昂貴。然而，國內在水耕栽培尚未有一商品化之移植機供農民使用，因此本場針對洋桔梗水耕移植作業研製自動移植機，以符合實際栽培管理需求及減輕農民成本負擔為目標，期提升產業在栽培上自動化程度，改善生產環境，並促進產業發展及競爭力。



圖一、水耕洋桔梗栽培場域。
Fig. 1. The cultivation area of hydroponic Eustoma.



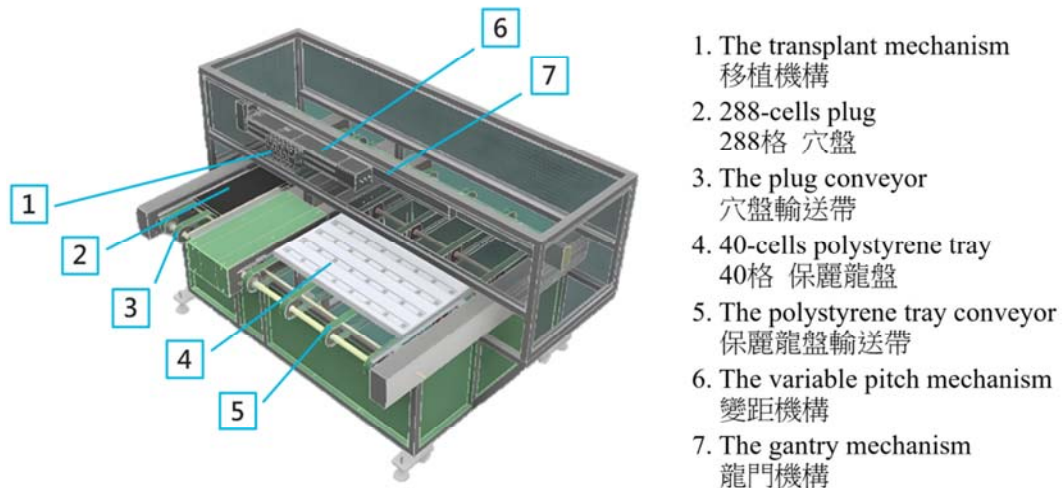
圖二、人工移植作業。
Fig. 2. Manual transplanting operation.

材料與方法

一、設計概念

以現行水耕洋桔梗栽培場域之人工移植作業流程作為考量，首先進行移植作業前處理，由於生長一段時間之穴盤苗，其根系、介質與穴盤壁變得緊密，導致不易從穴盤中取出苗株或直接拔取造成苗株損傷等問題，農民需將每一穴盤苗進行敲打或輕摔於地面，使得苗株之介質與穴盤壁分離，以利後續取苗，接著以蹲坐方式於水耕用之保麗龍盤旁，一手捧著穴盤苗，另一手依序抓取苗株，分別放入保麗龍盤之承苗杯中，以完成移植作業。因此，水耕洋桔梗自動移植機以機械自動化進行移植作業設計概念包含：

- (一) 符合該產業使用之288格(12×24)穴盤規格。
- (二) 符合該產業水耕栽培用之40格(8×5)保麗龍盤規格。
- (三) 設定具定位穴盤及苗株介質與穴盤分離之功能。
- (四) 設定具機械化夾持與置放苗株之功能。
- (五) 設定具苗株間距等距縮放之功能。
- (六) 設定具橫向載送苗株之功能。
- (七) 設定具定位與移動穴盤和保麗龍盤之功能。



圖三、水耕洋桔梗自動移植機之 3D 示意圖。

Fig. 3. 3D schematic diagram of the automated transplanting machine of hydroponic Eustoma.

二、機具各機構功能規劃

規劃水耕洋桔梗自動移植機包含主要以下機構及功能說明(圖三)：

- (一) 移植機構：為機具之關鍵機構，具夾持苗株、放置苗株、穴盤定位及苗株介質與穴盤分離之功能。
- (二) 變距機構：將苗株間距可縮放為夾苗距離及放苗距離兩種狀態。
- (三) 龍門機構：將苗株移載於穴盤與保麗龍盤間，並至指定位置夾取、放置苗株。
- (四) 輸送帶機構：
 1. 穴盤輸送帶：符合288格(12×24)穴盤規格之架構，並配合上述機構完成頂苗作業、夾苗作業及換盤之動作。
 2. 保麗龍盤輸送帶：符合水耕栽培用之40格(8×5)保麗龍盤規格之架構，並配合上述機構完成放苗作業及換盤之動作。

三、PLC移植作業程式規劃

為實現水耕洋桔梗自動移植機之自動化，機具之移植機構、變距機構、龍門機構及輸送帶機構結合可編程邏輯控制器(PLC)進行程式編寫移植作業流程。機具一次作業夾放4株苗，穴盤一排為12株苗，保麗龍盤一排為8株苗，規劃穴盤作業區及保麗龍盤作業區2個區塊，移植過程包含頂苗作業、夾苗作業及放苗作業，以下說明各區塊流程(圖四)：

(一) 穴盤作業區

1. 穴盤苗進行定位後，移至第一排進行頂苗作業，將整排12株苗頂起。
2. 設定3個夾苗位置依序進行夾苗作業，完成後穴盤進到下一排進行頂苗作業。
3. 上述第2點循環24次後完成一盤穴盤苗移植。
4. 取出空穴盤，放入新穴盤苗，回到上述第1點進行作業。

(二) 保麗龍盤作業區

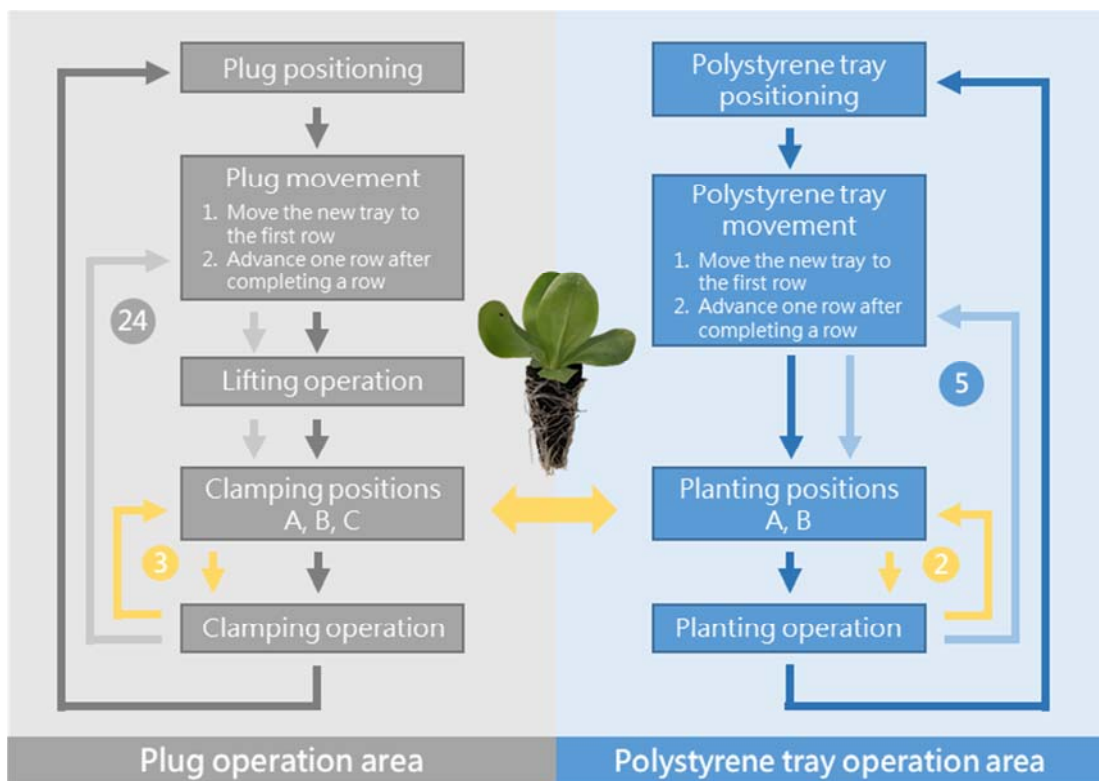
1. 保麗龍盤進行定位後，移至第一排等待放苗。
2. 設定2個放苗位置依序進行放苗作業，完成後保麗龍盤進到下一排等待放苗。
3. 上述第2點循環5次後完成一盤保麗龍盤移植。
4. 取出含苗株之保麗龍盤，放入新保麗龍盤，回到上述第1點進行作業。

四、機具效能測定

為測定水耕洋桔梗自動移植機之效能，進行自動化移植作業試驗，以連續作業的方式進行，為瞭解機具在每一階段作動對移植作業之影響，將一連串的移植作業分為3個部分，依序是頂苗作業、夾苗作業及放苗作業，並記錄該機具之整體作業速率，以下為各作業項目說明：

- (一) 頂苗作業：記錄是否將穴盤苗每一排之苗株與穴盤分離，歸納其過程中影響成功率之因素，並檢測相關機構與PLC程式搭配情形，是否有需排障及優化之部分。

- (二) 夾苗作業：記錄苗株是否成功從穴盤中夾取出來，歸納其過程中影響成功率之因素，並檢測相關機構與PLC程式搭配情形，是否有需排障及優化之部分。
- (三) 放苗作業：記錄苗株是否成功放入保麗龍盤之承苗杯中，歸納其過程中影響成功率之因素，並檢測相關機構與PLC程式搭配情形，是否有需排障及優化之部分。
- (四) 整體作業速率：機具以連續作業分別測量完成移植一排穴盤苗之時間、完成移植一盤穴盤苗之時間及完成移植一盤保麗龍盤之時間。



圖四、自動化移植作業之流程規劃。穴盤作業區：循環 24 排完成一盤 288 格(12×24)穴盤，其中每排夾苗 3 次進下 1 排；保麗龍盤作業區：循環 5 排完成一盤 40 格(8×5)保麗龍盤，其中每排放苗 2 次進下 1 排。

Fig. 4. Process planning for automated transplanting operations. Plug operation area: a full cycle completes 24 rows to fill a 288-cell (12×24) plug tray, with seedlings clamped 3 times per row before moving to the next row; polystyrene tray operation area: a full cycle completes 5 rows to fill a 40-cell (8×5) polystyrene tray, with seedlings placed 2 times per row before moving to the next row.

結果與討論

一、機具研製成果

水耕洋桔梗自動移植機包含移植機構、變距機構、龍門機構、輸送帶機構、可編程邏輯控制器(PLC)及氣壓供應組件等機構，實現可自動化將苗株於穴盤頂起，使介質與穴盤壁分離，並夾取苗株移至保麗龍盤之承苗杯中，以完成移植作業，同時可透過人機介面進行各機構個別控制及參數調整之功能。其中，移植機構為機具之關鍵部位，包含張等人(2023)所設計之植物抓取裝置(M638295)及植物頂起裝置(M636649)2項新型專利(圖五)，其專利設計特點分別如下：

(一) 植物抓取裝置

1. 可依需求以排列式增設數量，具開發彈性。
2. 具兩段式作動，即夾放苗高度調整及插土夾之作動。
3. 設計檔板梳理苗株，使其露出介質以利夾取，保留苗株完整並減少葉片損傷。
4. 以傾斜角度夾取苗株，增加夾取面積。
5. 插土夾具彈性材質，以滾輪輔助達到夾放苗之功能。

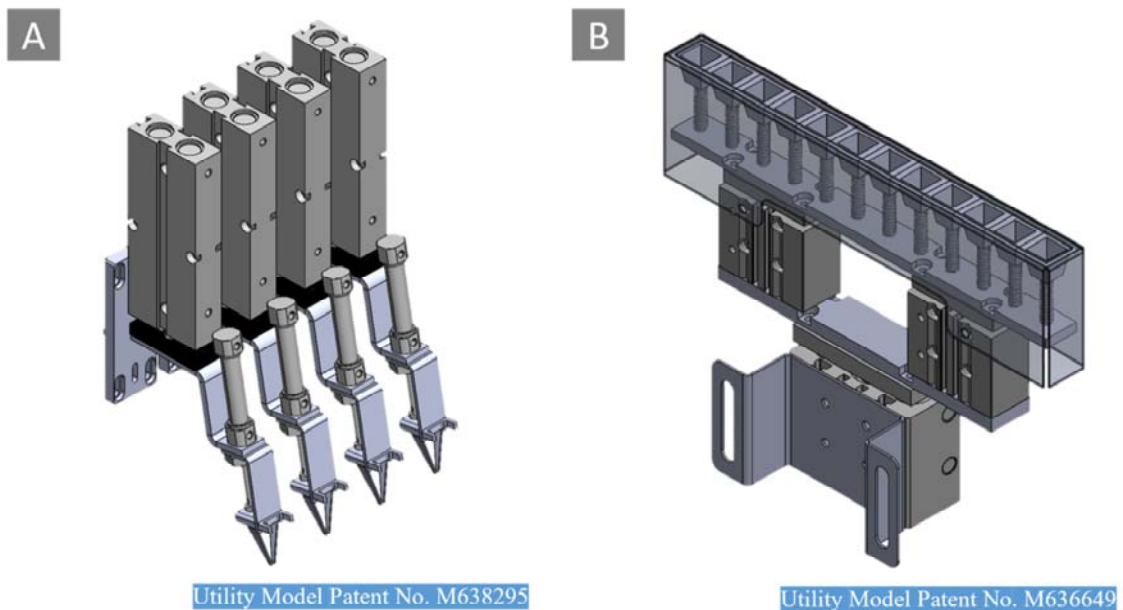
(二) 植物頂起裝置

1. 可依穴盤規格調整穴格數，具開發彈性。
2. 具兩段式作動，即頂苗座升起及頂柱升起。
3. 具固定與定位穴盤，內部彈簧做為整體緩衝目的之用。
4. 可一次性將同排穴盤苗頂起，使苗株介質與穴盤分離，以利後續作業。

洪等人(2020)試驗如單使用植物抓取裝置進行夾取苗株，其成功率僅達7成，而當2個裝置同步搭配應用可將成功率達至9成，提升1.5倍之成功率，主要因植物頂起裝置可充分解決苗株介質與穴盤壁過於緊密之問題，大幅提升植物抓取裝置夾取苗株之成功率。

目前本研究開發2型水耕栽培洋桔梗自動移植機，分別為1代與2代原型機(圖六)，2型機具裝設相同的移植機構外，原型機2代針對原型機1代進行其他機構之改良與輕量化，包含整體體積、重量的縮小，變距機構、龍門機構、人機介面及PLC控制程式等，表1比較2型機具規格之差異。在體積與重量方面，原型機1代之長、寬、高為1.7 m、3.3 m、1.8 m，總重約850 kg；原型機2代之長、寬、高為1.6 m、2.05 m、1.6 m，總重約410 kg。相較之下，2代原型機的體積較1代縮小約44%，重量減輕約50%，主要是2代原型機之骨架採用了較薄的鋼材，且控制箱直接掛載於機具上(1代原型機之控制箱為獨立式)，從而達到體積與重量的縮減，使機具在實際場域上有更佳的空間配置，且搬運上更具靈活性與彈性。在PLC程式撰寫與人機介面部分(圖7A、B)，原型機1代採用FATEK(永宏)PLC，原型機2代採用OMRON(歐姆龍)PLC，2代相較於1代，提高操作便利性、資訊顯示豐富性及作動程式流程優化等。在變距機構部分(圖

7C、D)，原型機1代採用複數皮帶、齒輪組，並以步進馬達驅動；原型機2代採用連桿結構加皮帶滑台，並以伺服馬達驅動，兩者皆能達到等距縮放之功能，而差異上原型機2代結構設計較為簡單且易調整，而原型機1代雖能掛載較多植物抓取裝置，但結構相對複雜，且皮帶跳齒時不易調整。在龍門結構部分(圖7C、D)，原型機1代採用鋼材作為結構，配置皮帶、滑軌、惰輪以步進馬達驅動；原型機2代採用鋁擠型作為結構，配置皮帶滑台、滑軌以伺服馬達驅動，相對而言，原型機2代之龍門結構較1代輕巧，且便於維護與調整。原型機1代動力驅動使用步進馬達，雖成本較低，但穴盤移植過程中持續的阻力變化，會導致失步現象，需頻繁進行原點校準，而原型機2代改用具自動校準功能的伺服馬達，可避免上述問題，並提高運轉效率，降低電力消耗。此外，原型機2代設置Z軸調整器，可微調植物抓取裝置與穴盤間的距離，以因應不同高度之穴盤，可達到較佳的移植效果(圖7E、F)。



圖五、移植機構之 2 項關鍵裝置(A)植物抓取裝置；(B)植物頂起裝置。

Fig. 5. Two key devices of the transplant mechanism (A) The plant grasping device; (B) The plant jacking device.



圖六、水耕洋桔梗自動移植機(A)原型機 1 代；(B)原型機 2 代。

Fig. 6. The automated transplanting machine of hydroponic Eustoma (A) Prototype machine 1st generation; (B) Prototype machine 2nd generation.

表一、2 型水耕洋桔梗自動移植機之規格比較

Table 1. Comparison of specifications for two hydroponic Eustoma automated transplanters

	Prototype Generation 1	Prototype Generation 2
Volume (length, width, height)	1.7 m, 3.3 m, 1.8 m	1.6 m, 2.05 m, 1.6 m
Weight	850 kg	410 kg
PLC	FATEK	OMRON
Transplant Mechanism	The plant grasping device(M638295), The plant jacking device(M636649)	
Variable Pitch Mechanism	Multiple Belt, Gear Assembly, Stepper Motors	Mechanical linkage, Belt driven Module, Servo Motors
Gantry Mechanism	Belt & Idler, Slide Rail, Stepper Motors	Belt driven Module, Slide Rail, Servo Motors
Conveyor mechanism	Belt conveyor	
Z-axis adjuster	No	Yes



圖七、2 型水耕洋桔梗自動移植機之規格差異(A)原型機 1 代之人機介面；(B)原型機 2 代之人機介面；(C)原型機 1 代之變距及龍門機構；(D)原型機 2 代之變距及龍門機構；(E)原型機 2 代設置 Z 軸調整器；(F)Z 軸調整器調整植物抓取裝置與穴盤之距離。

Fig. 7. Differences in specifications of two hydroponic Eustoma automated transplanters (A) The human-computer interface of prototype machine 1st generation; (B) The human-computer interface of prototype machine 2nd generation; (C) The variable pitch and gantry mechanism of prototype machine 1nd generation; (D) The variable pitch mechanism and gantry of Prototype machine 2nd generation; (E) Prototype machine 2nd generation is equipped with a Z-axis adjuster; (F) The Z-axis adjuster adjusts the distance between the plant grasping device and the plug.

二、機具效能測定

以裝設相同移植機構之2型水耕洋桔梗自動移植機進行移植試驗，主要作動為自動化將苗株於穴盤頂起並夾持至保麗龍盤之承苗杯中，其動作分為頂苗作業、夾苗作業及放苗作業3個階段，探討2型機具在每一階段成功與失敗之因素，並記錄其作業速率。1代與2代原型機使用統計分析之獨立樣本T檢定(Independent Sample t test)進行數據分析比較，檢定承擔的風險訂為5% ($P \leq 0.05$)，以測定2型機具之效能差異。

在連續自動化移植作業下，原型機1代共移植864株苗，原型機2代共移植816株苗。首先機具進行穴盤定位及苗株介質與穴盤壁分離等動作，稱之為頂苗作業，其單次作業可頂起12株苗。表二為2型機具之頂苗作業情況，原型機1代進行72次頂苗作業，其成功率為95.83%，原型機2代進行68次頂苗作業，其成功率為94.12%，經由T-test檢定分析，兩者間並無顯著差異，顯示皆可有效將苗株介質與穴盤壁分離。以空穴盤進行測試時，2型機具之相關機構與PLC程式搭配上作動順暢，而實際頂起穴盤苗時，會因苗株根系發育情況及穴格內介質是否充實等因素影響頂苗作業之成敗，當穴盤苗有根系發育欠佳或介質鬆散等情況，會使得苗株頂起效果有限，可能影響後續的夾苗作業。

表二、2型水耕洋桔梗自動移植機之頂苗作業

Table 2. The clamping operation of two hydroponic Eustoma automated transplanters

	Prototype Generation 1	Prototype Generation 2
Success (%)	95.83 a ¹ (n = 69)	94.12 a (n = 64)

¹ Same letters indicate non-significant differences between machines at 0.05 level by Independent samples t-test.

表三為2型機具之夾苗作業情況，原型機1代之夾苗成功率分別為單株90.16%、複數株2.08%，原型機2代分別為單株86.93%、複數株5.97%，經由T-test檢定分析，夾苗成功率在單株部分2型機具無顯著差異，而複數株部分則有顯著差異，整合單、複數苗之夾苗成功率，2型機具皆達9成以上。在正常情況下，一支夾爪只抓取一株苗株，然而當苗株葉片較大或展開而互相交疊，容易在夾苗過程中將周圍苗株連同帶起，形成複數株的情況，其中原型機2代所移植之穴盤苗的葉片較原型機1代大，使得此情況發生機率較高。

在夾苗缺失率部分，原型機1代與2代分別占比為7.75%及7.10%，經由T-test檢定分析，兩者間具無顯著差異，其中夾苗缺失有未夾起苗株及穴格無苗株2個情況。在未夾起苗株之情況，包含苗株根系發育欠佳及苗株介質鬆散等因素，以原型機1代所移植之穴盤苗有較多此情況；在穴格無苗株之情況，因夾取複數株，連帶將旁邊待移植之苗株一併移載至保麗龍區，使得實際夾取該苗株時已成空穴格，以原型機2代所移植之穴盤苗有較多此情況。因此，綜合以上，使得2型機具在夾苗缺失率無顯著差異。

表三、2型水耕洋桔梗自動移植機之夾苗作業

Table 3. The clamping operation of two hydroponic Eustoma automated transplanters

	Success (%)		Fail (%)
	Single Plant	Multiple Plants	
Prototype Generation 1	90.16 a ¹ (n = 779)	2.08 b (n = 18)	7.75 a (n = 67)
Prototype Generation 2	86.93 a (n = 709)	5.97 a (n = 49)	7.10 a (n = 58)

¹ Same letters indicate non-significant differences between machines at 0.05 level by Independent samples t-test.

表四為2型機具之放苗作業情況，原型機1代在放苗成功率分別為單株89.12%、複數株0.46%，原型機2代分別為單株88.11%、複數株3.06%，經由T-test檢定分析，放苗成功率在2型機具間皆無顯著差異，整合單、複數苗之放苗成功率，2型機具皆達9成以上。成功放苗包含單株苗與複數苗2種情況，單株苗為正常移植結果，為單株苗放入保麗龍盤之承苗杯中；複數苗為原移植之苗株夾帶著其它苗株一併移至保麗龍盤區，通常被夾帶之苗株會在移載過程中掉落或掉於原移植之苗株(在承苗杯內)旁，有時一併擠入保麗龍盤之承苗杯內，影響後續應放入該苗株之承苗杯無苗株之情況。

表四、2型水耕洋桔梗自動移植機之放苗作業

Table 4. The planting operation of two hydroponic Eustoma automated transplanters

	Success (%)		Fail (%)	
	Single Plant	Multiple Plants	No Plant	Put in & Pull up
Prototype Generation 1	89.12 a ¹ (n = 770)	0.46 a (n = 20)	8.10 a (n = 70)	0.46 a (n = 4)
Prototype Generation 2	88.11 a (n = 719)	3.06 a (n = 25)	7.35 a (n = 60)	1.47 a (n = 12)

¹ Same letters indicate non-significant differences between machines at 0.05 level by Independent samples t-test.

在放苗缺失率部分，有承苗杯內無苗株及苗株放入後被拉起2個情況，無苗株在2型機具分別占比為8.10%及7.35%，兩者間無顯著差異，而苗株放入被拉起在2型機具分別占比為0.46%及1.47%，兩者間無顯著差異。探討承苗杯內無苗株之原因為夾爪未夾取目標苗株，如在頂苗作業與夾苗作業一連串之動作時，有苗株根系發育欠佳、介質鬆散或夾取複數苗等情況；苗株放入後被拉起之因素為苗株葉片勾到植物抓取裝置之擋板結構導致，2型機具發生此情況比例很低，可經設計改良其擋板結構，以降低或解決問題。

表五為2型機具在連續移植作業下之作業速率，原型機1代平均61.10秒完成12株苗之移植作業，平均25分26秒完成一盤288格穴盤，平均3分33秒完成一盤40格保麗龍盤，預估1小時可完成16.9盤40格保麗龍盤；原型機2代平均42.60秒完成12株苗之移植作業，平均17分45秒完成一盤288格穴盤，平均2分21秒完成一盤40格保麗龍盤，預估1小時可完成25.5盤40格保麗龍盤。經由T-test檢定分析，可比較出2型機具在作業效率上具顯著差異，以完成一盤40格保麗龍盤之時間，原型機2代較1代平均快1分12秒，作業速率平均提升33.83%，預估1小時可多完成8.6盤40格保麗龍盤。原型機2代作業速率的提升，主要動力使用伺服馬達，因伺服馬達的響應速度更快，為閉環控制具反饋機制，能更好進行速度和加速度之控制，可達成高負載或高速運行的情況下保持精確的速度和位置，另外程式控制採用OMRON(歐姆龍)PLC進行撰寫，使機具自動化移植作業之流程更加優化，如利用模組間多軸同步控制功能，使同一時間處理的作業可同步完成，有效縮短時間。

表五、2型水耕洋桔梗自動移植機之作業速率

Table 5. The average working time of two hydroponic Eustoma automated transplanters

	288 cells plug		40 cells polystyrene tray
	A Row	A Plate	A Plate
Prototype Generation 1	61.10sec a ¹	25min 26sec a	3min 33sec a
Prototype Generation 2	42.60sec b	17min 45sec b	2min 21sec b

¹ Same letters indicate non-significant differences between machines at 0.05 level by Independent samples t-test.

裝設相同移植機構之2型水耕洋桔梗自動移植機，雖整體骨架及其他機構(如變距機構、龍門機構、人機介面及PLC控制程式等)不同，但兩者移植試驗之成功率皆可達至9成，顯示移植機構中植物抓取裝置(M638295)及植物頂起裝置(M636649)之功能穩定性。2型機具皆可成功頂起與夾取苗株(圖8A、B)，並移載苗株至保麗龍盤之承苗杯內(圖8C)，但同樣遇到夾取複數苗之情況(圖8D)，影響後續夾苗作業無苗株可夾取(圖8E)。因目前夾苗作業以採取間隔夾取苗株之方式，當穴盤苗本身苗齡較大，如葉片皆超出本身穴格且與周遭苗株葉片彼此重疊覆蓋，使得在夾取過程中，容易拉取到周遭苗株，影響移植成功率。因此，可嘗試修改機構，以不間隔夾取的方式夾取苗株，意味著夾爪間距離更為緊密，可再評估其可行性，抑或優化檔板之結構，使苗株間能更區分開來，並同時減少勾到苗株葉片。另外穴盤苗品質為影響機具移植成功率主要因素之一，圖8F①、②苗株分別為根系良好及根系欠佳之狀態，苗株根系發育欠佳通常介質也較為鬆散，使得機具在頂苗與夾苗時無法達到效果，而根系良好之苗株假如葉片較大，則會造成夾取複數株的問題，因此，需瞭解苗株於哪一階段之苗齡最適合機械自動化移植作業，苗株之葉片大小、根系狀態、介質充實與否皆影響機具移植成功率。



圖八、水耕洋桔梗自動移植機之作業情況(A)成功頂起苗株；(B)成功夾取苗株；(C)成功移植苗株；(D)夾取複數苗株-紅圈；(E)未夾取苗株-紅圈；(F)苗株盤根情況影響移植成功率：①根系良好、②根系欠佳。

Fig. 8. Operation status of the automated transplanting machine of hydroponic Eustoma (A) Successful lifting of seedlings; (B) Successful picking of seedlings; (C) Successful transplantation of seedlings; (D) Picking multiple seedlings (marked with red circles); (E) Failure to pick seedlings (marked with red circles); (F) Condition of seedling roots affecting transplantation success rate: ① Well-rooted, ② Poorly rooted.

結論與建議

本研究研製水耕洋桔梗自動移植機，以自動化將苗株於穴盤移至水耕用保麗龍盤之承苗杯中，完成移植作業，其中機具之移植機構具2項新型專利，分別為植物抓取裝置(M638295)及植物頂起裝置(M636649)。植物抓取裝置提供夾放苗株之功能，並可梳理葉片，保留苗株完整；植物頂起裝置提供固定穴盤並具頂苗之功能，使苗株介質與穴盤分離，以利後續移植作業。目前開發2型機具，裝設相同移植機構下，整體作業成功率皆可達9成以上，其中原型機2代較1代作業效率可提升33.83%，平均42.6秒完成12株苗之移植作業，17分45秒完成一盤288格穴盤，2分21秒完成一盤40格保麗龍盤。同時原型機2代在整體設計優化下，體積縮小44%、重量減輕50%及採用成本相對較低之零組件，更加符合實際場域需求且減輕農民機具成本購置負擔，以利推廣農業自動機械化。

然而，機具在自動化移植作業過程中，仍有頂不起苗株、夾不起苗株、或是夾起複數苗之情況。為克服上述問題，除了在機構上進行改良外，如採取不間隔夾取苗株方式或優化檔板結構等。另外培育出葉片大小適中、根系良好且介質充足之苗株，建立符合可機械自動化之穴盤苗亦同等重要，意指需不同專業領域協同合作，方能促進產業發展。未來規劃原型機2代移至實地場域進行移植作業，達到省工機具落地應用，同時在產業實際操作機具所產生的回饋中，持續優化以更符合產業需求。另外，機具更換保麗龍盤仍以人工方式進行，可規劃研製水耕用保麗龍盤進出料機，以提升臺灣切花栽培機械化與自動化發展規模。

誌謝

本研究承蒙農業部科技計畫項下補助經費，感謝中興大學生物產業機電工程學系蔡耀全教授、宜蘭大學生物機電工程學系梁辰璋教授斧正，以及農機研究室李東霖、茆聰銘、劉志聰、李安心及賴碧琴同仁鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併誌謝。

參考文獻

1. 王瑞章、江汶錦、孫文章、黃山內 2008 洋桔梗淹水後復耕栽培技術之研究 臺南區農業改良場研究彙報 51: 9-16。
2. 王裕權、張元聰 2007 洋桔梗育苗技術探討 台南區農業改良場研究彙報 50: 39-48。
3. 田雲生、龍國維、戴振洋、樂家敏 2003 半自動雙行蔬菜移植機之改良與測試(二) 臺中區農業改良場研究彙報 78: 43-53。
4. 林靈、吳建銘、巫楓琪、游詩妮 2019 洋桔梗青世代 打造外銷新榮景 頁49-62 臺中區農業改良場特刊第138號 行政院農業委員會臺中區農業改良場編印。

5. 洪榆宸、張金元、李東霖 2022 洋桔梗穴盤苗移植機構之研發 頁49-51 2022生機與機械學術研討會論文集。
6. 張元聰、王美琴 2017 以土壤改良劑及熱水處理改善洋桔梗之連作障礙 臺南區農業改良場研究彙報 70: 46-55。
7. 張元聰、王美琴 2019 洋桔梗連作障礙處理成果介紹 臺南區農業專訊 107: 4-8。
8. 張金元、田雲生、洪榆宸、李東霖 2023 植物抓取裝置 中華民國新型專利M638295號。
9. 張金元、田雲生、洪榆宸、李東霖 2023 植物頂起裝置 中華民國新型專利M636649號。
10. 陳建銘、蔡宛育 2022 臺灣中部地區外銷作物產業專集-洋桔梗 頁110-118 臺中區農業改良場特刊第112號 行政院農業委員會臺中區農業改良場編印。
11. 游昇俯 2020 葉菜移植一次6行還免蹲 桃園場移植神器效率快3.8倍 農傳媒 <<https://www.agriharvest.tw/archives/44817>> 訪問時間：2024/04/23。
12. 蔡光美 2013 洋桔梗水耕栽培技術之開發 國立屏東科技大學農園生產系 碩士論文 屏東臺灣。
13. 蔡宛育 2023 周年生產設施水耕洋桔梗栽培系統 臺中區農情月刊第285期：2。
14. 蔡宛育、陳彥樺 2013 洋桔梗畦面覆蓋效果之研究 頁100-111 臺中區農業改良場特刊第117號 行政院農業委員會臺中區農業改良場編印。
15. 戴廷恩 2020 政府機構花卉產業研發成果及前瞻規劃 頁38-47 臺中區農業改良場特刊第142號 行政院農業委員會臺中區農業改良場編印。
16. Kubota KP201. < <https://exhibition.stkubota.com.tw/vegtrans/kp201/>> Accessed: 24-04-2024.
17. Kubota SKP200. < <https://exhibition.stkubota.com.tw/vegtrans/skp200/>> Accessed: 24-04-2024.
18. Liu, W., Tian, S., Wang, Q., Jiang, H. 2023. Key Technologies of Plug Tray Seedling Transplanters in Protected Agriculture: A Review. Agriculture 13, 1488.
19. TTA FlexPlanter. < <https://www.tta.eu/equipment/transplanting-plugs/flexplanter>> Accessed: 23-04-2024.
20. Yanmar PF2R. < https://www.yanmar-china.com/cn/agri/products/vegetable_replant/pf2r/> Accessed: 24-04-2024.

The Development and Application of an Automated Transplanting Machine of Hydroponic Eustoma¹

Yu-Chen Hung^{2*}, Chia-Wei Chang²,
Chin-Yuan Chang² and Yun-Sheng Tien²

ABSTRACT

Eustoma has quickly become a prominent cut flower industry in Taiwan in recent years. To improve automation in cultivation and address labor shortages, this study developed an automated transplanting machine for hydroponic Eustoma, aiming for practical industrial application. The machine's primary function is to automate the process of lifting seedlings from plugs, spacing and evenly transporting them, and transplanting them into seedling cups within polystyrene trays. The machine is equipped with two utility model patents: a plant gripping device (M638295) and a plant jacking device (M636649), which together serve as the transplanting mechanism. Currently, two prototypes generation 1 and generation 2 have been developed and tested across three stages of the transplanting process: lifting, clamping, and placing seedlings. Both prototypes achieved an overall success rate of over 90%, indicating stable functionality of the transplanting mechanism. With optimized overall design, prototype generation 2 features a more simplified mechanism and lower manufacturing costs. Its operational efficiency is 33.83% higher compared to the first-generation prototype, with average transplanting times of 42.6 seconds for 12 seedlings, 17 minutes and 45 seconds for a 288-cells plug, and 2 minutes and 21 seconds for a 40-cells polystyrene tray, making it more suitable for practical industry needs. This study evaluates that the machine has reached the stage of practical application, with plans to conduct field tests using prototype generation 2. The goal is to implement labor-saving mechanization in the industry, reduce the cultivation burden on farmers, and enhance production scale and economic efficiency.

Key words: Eustoma, hydroponics, transplantation, mechanical automation

¹Contribution No. 1085 from Taichung DARES, MOA.

²Project Assistant, Assistant Researcher, Associate Researcher and Researcher of Taichung DARES, MOA.

*Corresponding Author: ychung@tedares.gov.tw